

## Respuesta fisiológica de cultivares de arroz a diferentes épocas de siembra en Córdoba, Colombia

### Physiological response of on rice cultivars in different sowing times in Córdoba, Colombia

José V. Villalba<sup>1\*</sup>, Alfredo J. Jarma<sup>2</sup>, Enrique M. Combatt<sup>3</sup>

Recibido para publicación: Diciembre 2 de 2016 - Aceptado para publicación: Mayo 18 de 2017

#### RESUMEN

La mejor eficiencia del cultivo de arroz se basa en conocer características de crecimiento y rendimiento de acuerdo a la oferta ambiental. El objetivo de la investigación fue determinar los índices de crecimiento masa seca MS, área foliar AF, tasa absoluta de crecimiento TAC, tasa relativa de crecimiento TRC, tasa de asimilación neta TAN, razón de área foliar RAF, e índice de área foliar IAF y componentes de rendimiento altura de planta, panículas por m<sup>2</sup>, granos por panícula, peso de 1000 granos, y rendimiento t ha<sup>-1</sup>; de los cultivares Fedearroz 2000, Fedearroz 50, Fedearroz Mocarí y Fedearroz 473, bajo riego en las épocas de siembra, octubre, noviembre y diciembre, con un diseño de bloques al azar, arreglo factorial 4x3 y cuatro repeticiones. Los resultados mostraron diferencias significativas entre las épocas de siembra, donde los valores más altos de MS se presentaron en octubre, el IAF en noviembre, TAC, TRC, TAN y RAF en octubre y noviembre, donde los cultivares mostraron más estabilidad ante factores ambientales. Las variables altura de planta, panículas por m<sup>2</sup>, números de granos por panícula y peso de 1000 granos no presentaron diferencia significativa entre épocas de siembra; sin embargo, los cultivares Fedearroz 2000 y Fedearroz 50 alcanzaron los máximos valores en noviembre, el rendimiento presentó diferencias significativas ( $p < 0,01$ ) en las épocas de noviembre y diciembre para los cultivares Fedearroz 2000 y Fedearroz 473. La mayor eficiencia fisiológica de los cultivares se presentó en las épocas de siembra de noviembre y diciembre.

**Palabras clave:** Época de siembra, eficiencia fisiológica, rendimiento, cultivares.

#### ABSTRACT

A greater efficiency of rice cultivation is based on knowing its characteristics in terms of growth and yield according to the environmental supply. This research aimed at determining the dry mass (DM) g, leaf area (LA) cm<sup>2</sup>, absolute growth rate (AGR) g day<sup>-1</sup>, relative growth rate (RGR) g g<sup>-1</sup> day<sup>-1</sup>, net assimilation rate (NAR) g cm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, leaf area ratio (LAR) cm<sup>2</sup> day<sup>-1</sup>, and leaf area index (LAI) and yield components of plant height, panicles per m<sup>2</sup>, grains per panicle, weight of 1000 grains, and yield t ha<sup>-1</sup>, of Fedearroz 2000, Fedearroz 50, Fedearroz Mocarí and Fedearroz 473 cultivars under irrigation, during the sowing season ranging from october to december, with a randomized block design with factorial arrangement 4x3 and four replications, while doing sampling for 15 days. The results showed high differences between sowing times, where the highest values of DM were presented in october, the LAI in November, RGR, RGR, NAR and LAR in october and november, where the cultivars showed more stability to environmental factors. The variables plant height, panicles per m<sup>2</sup>, numbers of grains per panicle and weight of 1000 grains did not present significant difference in one month to another; However the cultivars fedearroz 2000 and fedearroz 50 reached the maximum values in november, the yield presented highly significant differences in the seasons of november and december for the Fedearroz 2000 and Fedearroz 473 cultivars. To conclude, the greater physiological efficiency of the cultivars is presented in the sowing seasons of november and december.

**Key words:** Palnting seasons, physiological efficiency, yield, cultivars.

<sup>1\*</sup> M.Sc. Docente Universidad de Córdoba. Carrera 6ª. No. 76-103 Montería. Teléfono: 7860300. Correo electrónico: jvillalba@correo.unicordoba.edu.co

<sup>2</sup> Ph.D. Docente investigador Universidad de Córdoba. Correo electrónico: ajarma24@yahoo.com

<sup>3</sup> Ph.D. Docente investigador Universidad de Córdoba. Correo electrónico: ecombatt@correo.unicordoba.edu.co.com

## INTRODUCCIÓN

El arroz es el tercer producto agrícola de Colombia, representa cerca del 10% de la producción agrícola del país, el Departamento Administrativo nacional de Estadística DANE (2016), reportó un área sembrada de 389.864 ha en arroz, con una producción de 874.178 toneladas, rendimientos promedios de 6,0 t ha<sup>-1</sup>. Ubicándose este cultivo como el tercer producto agrícola en extensión, representando cerca del 6% de la producción agropecuaria y el 10% de la actividad agrícola en el país. Sin embargo, la zona arrocería del departamento de Córdoba reporta producciones y rendimientos obtenidas por el cultivo por debajo de los promedios nacionales (Agronet 2016); una de las razones para que se presenten estos resultados es que los cultivares sembrados en la zona expresan potencialidades diferentes; debido a la variabilidad de la oferta ambiental. El arroz se cultiva bajo diferentes condiciones agroecológicas y tecnológicas, especialmente en el Caribe colombiano donde la oferta ambiental juega un papel importante en el comportamiento y desarrollo de los cultivares (Fedearroz 2008).

La respuesta fenotípica a los cambios ambientales no es igual para todas las variedades y las consecuencias de la variación de los genotipos a través de los años está condicionada por el arreglo genético, manejo agronómico y la interacción de cultivares con el arreglo tecnológico (Shahidullah et al. 2009). Jugando un papel fundamental la adaptabilidad de los cultivares, la cual se define como la capacidad de un cultivo o planta de responder positivamente a los cambios de las condiciones ambientales (Aramendiz et al. 2011).

Con la finalidad de lograr un rendimiento en el cultivo de arroz, es importante comprender los procesos fisiológicos de las plantas, donde el carácter más complejo es la producción de granos o materia seca, que es el resultado del

funcionamiento de la planta en el medio donde la semilla ha sido sembrada para desarrollarse. Para ello es necesaria una aproximación integral al funcionamiento y su población, por lo que resulta importante entender los procesos fisiológicos de la planta y sus relaciones con otras en las condiciones de cultivo (Maqueira 2010).

El análisis de crecimiento de las plantas se ha desarrollado durante las últimas décadas como una disciplina, relacionada con la ecofisiología y la agronomía, con sus propios conceptos, términos y herramientas de cálculo (Hunt 1982).

El análisis de crecimiento se puede ajustar a modelos matemáticos para cuantificar la relación existente entre el crecimiento de una planta, la producción de masa seca y la expansión de área foliar, o entre estos factores y condiciones ambientales como luz, agua o nutrientes. El desarrollo de estos métodos de análisis proporciona mayor comprensión de los procesos de crecimiento y de las limitaciones en el rendimiento del cultivo (Brown 1984).

Por lo anterior, el objetivo de la investigación fue determinar los índices de crecimiento de los cultivares Fedearroz 2000, Fedearroz 50, fedearroz Mocarí y fedearroz 473 en tres épocas de siembra.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en el segundo semestre del 2012, en el campo experimental "La Victoria" de FEDEARROZ (Fondo Nacional del Arroz F.N.A), kilómetro 8 del municipio de Montería, coordenadas: 8° 89' N y 75° 49' W; precipitación anual promedio de 1346,1 mm, humedad relativa del 84%, temperatura promedio anual de 27,4 °C, brillo solar anual de 2108,2 horas y zona de vida denominada bosque seco tropical (bs-T), según la clasificación de Holdridge (Palencia et al. 2006). Las condiciones ambientales durante el experimento se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Datos promedios quincenales de radiación, precipitación, temperaturas máximas y mínimas para el periodo del último trimestre del 2012 y el primer trimestre del 2013.

Año	Fecha	Radiación $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	Precipitación mm	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
2012	15-31 Oct	912	0,3	27,3	27,0
	01-15 Nov	884	34,6	28,3	27,5
	16-30 Nov	761	9,0	28,3	27,5
	01-15 Dic	647	9,2	28,1	27,3
	16-31 Dic	601,4	27,0	28,4	27,4
2013	01-15 Ene	760,8	0,0	28,9	27,8
	16-31 Ene	854,3	0,4	29,0	23,7
	01-15 Feb	871	0,2	27,9	25,0
	16-29 Feb	887,5	56,8	29,0	24,2
	01-15 Mar	796	0,0	28,7	23,6
	16-30 Mar	778	32,6	29,3	23,5

La investigación se realizó en lote de arroz bajo riego, bajo un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones, con un arreglo factorial 4X3, donde el factor A correspondió a las variedades comerciales de arroz: Fedearroz 2000, Fedearroz 50, Fedearroz Mocarí y Fedearroz 473; el factor B, a las épocas de siembra: Octubre 23 (Época 1), Noviembre 17 (Época 2) y Diciembre 20 (Época 3). La unidad experimental contó un área de 30 m<sup>2</sup>, para un área total de 480 m<sup>2</sup>. La siembra se realizó al voleo con una densidad de semilla aproximada de 120 kg ha<sup>-1</sup>. Se tomaron 3 plantas por unidad experimental en competencia cada quince días, a partir de los 30 días después de la emergencia (dde) hasta cosecha, para la estimación de masa seca (MS) g, el material vegetal se llevó a la estufa secándolo a 70 °C por 72 horas, hasta obtener un peso constante. Se usó el software DDA (Determinador digital de Áreas) versión DDA 1.2, software libre desarrollado en el Campus San Augusto del Instituto Federal de Ciencias de la Educación y Tecnología Farroupilha, utilizando lenguaje Delphi, en la determinación del área foliar (AF) cm<sup>2</sup>. A partir de estos datos se analizaron los índices de tasa absoluta de crecimiento (TAC) g día<sup>-1</sup>, tasa relativa de crecimiento (TRC) g g<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, tasa de asimilación neta (TAN) g cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>, razón de área foliar (RAF) cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> e índice de área foliar (IAF). La tabla 2, muestra las ecuaciones para obtener los

índices descritos. Además se determinaron los componentes de rendimiento, altura de planta (cm), panículas por (m<sup>2</sup>), granos por panícula, peso de 1000 granos (g), y rendimiento (t ha<sup>-1</sup>). Los parámetros de MS y AF fueron ajustados al modelo estadístico que mejor explicara su comportamiento, a partir de estos datos se obtuvieron las tasas de crecimiento.

**Tabla 2.** Fórmulas para el cálculo de los índices de crecimiento de cuatro cultivares de arroz en tres épocas de siembra en el departamento de Córdoba.

Índices de crecimiento	Ecuación
Tasa absoluta de crecimiento (TAC)	$(MS_f - MS_i) / (t_f - t_i)$
Tasa de crecimiento relativo (TCR)	$(\ln MS_f) - (\ln MS_i) / (t_f - t_i)$
Tasa de asimilación neta (TAN)	$(MS_f - MS_i) / (AF_f - AF_i) \times (\ln AF_f - \ln AF_i) / (t_f - t_i)$
Razón de área foliar (RAF)	$(AF_1/W_1) + (AF_2/W_2) / 2$
Índice de área foliar (IAF)	AF/AS

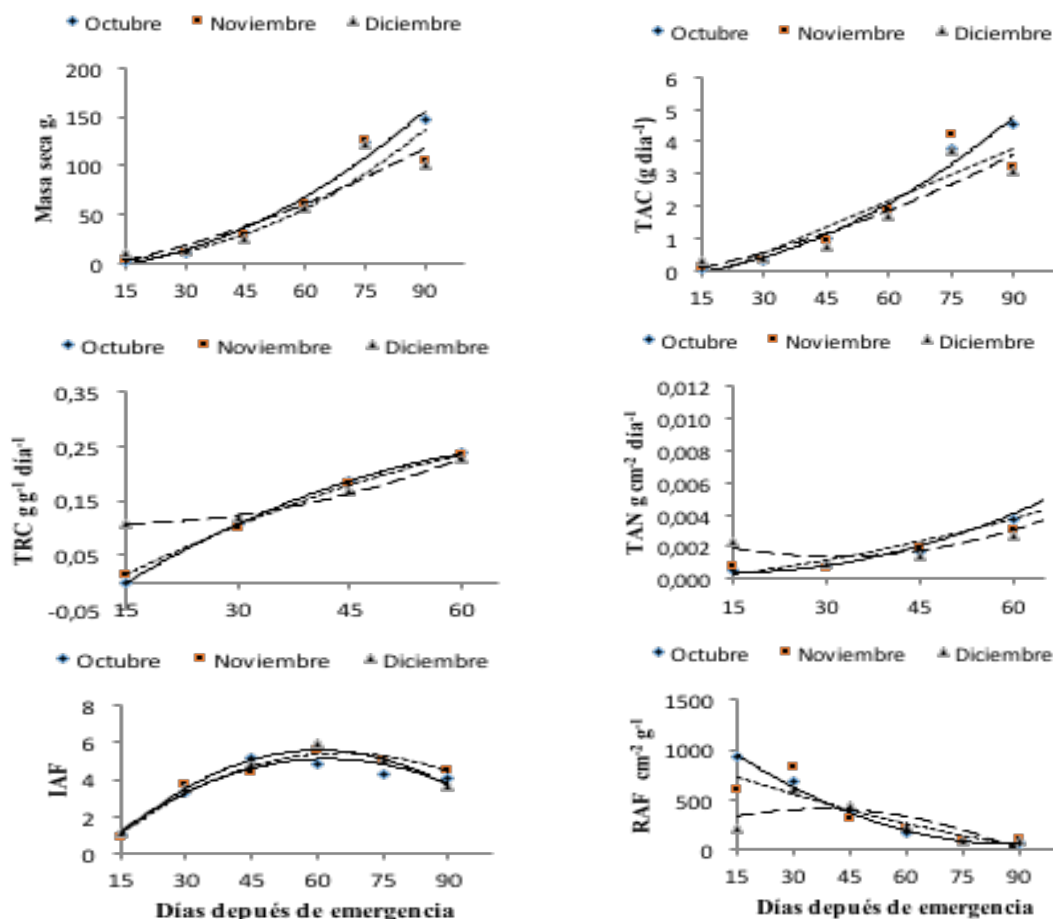
Los análisis de varianza para cada una de las variables fueron realizados para determinar el efecto debido a los tratamientos, el bloque y el error experimental para finalmente realizar la prueba F ( $p \leq 0,05$ ). Una vez determinada la significancia de los tratamientos, se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para identificar los mejores tratamientos, los datos fueron analizados con el programa SAS (versión 9.1).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área foliar (AF), presentó un comportamiento similar entre las diferentes épocas de siembra, mostrando un incremento del área foliar a medida que avanza el periodo vegetativo y reduciéndose hacia las etapas finales como producto de la senescencia de las hojas; los valores más altos de AF se presentaron a los 60 días después de emergencia (dde), coincidiendo con las etapas de máximo macollamiento y expansión foliar para los diferentes cultivares, con 5.474,1 cm<sup>2</sup> en la época de diciembre, siendo superior en un 19 y 7% con respecto a las épocas de octubre y noviembre respectivamente. Estos valores son superiores a los obtenidos por Degiovanni (2004), quien reportó valores de AF de 3.960,17

y 3.360,04 cm<sup>2</sup>, en las variedades Fedearroz 50 y Fedearroz 2000, igualmente a los obtenidos por Charry (2013), el cual reportó valores por encima de 3.700 cm<sup>2</sup> en las zonas arroceras de Montería y San Bernardo del Viento departamento de Córdoba. De acuerdo a la oferta ambiental, la época de siembra de diciembre se vio favorecida en cuanto a radiación y diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 1). La producción de materia (MS) seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto, cuando esta última es alta se espera una alta acumulación de materia seca (Santos et al. 2010). La figura 1a, muestra en forma general una acumulación de masa seca constante

hasta las etapas finales, donde la época de siembra de diciembre, presentó en las etapas iniciales del crecimiento vegetativo la mayor ganancia de masa seca entre los 15 y 30 dde, reduciéndose entre los 45 y 75 dde con respecto a las épocas de noviembre y diciembre, las cuales presentaron patrones similares. La mayor acumulación de masa seca total se presentó durante la época de siembra de octubre, posiblemente por mayor macollamiento de las plantas posiblemente por efectos de una mayor radiación. Maqueira et al. (2007), indican que la mayor producción de masa seca se presenta durante la fase de maduración, por la translocación de asimilados hacia la panícula.



**Figura 1.** Masa seca (a), tasa absoluta de crecimiento (b), tasa relativa de crecimiento (c), tasa de asimilación neta (d), índice de área foliar (e) y razón de área foliar (f), de los cultivares Fedearroz 50, Fedearroz 473, Fedearroz 2000 y Fedearroz Mocarí, sembrados en tres épocas de siembra Octubre, Noviembre y Diciembre en el Sinú medio departamento de Córdoba en el semestre 2012B.

En la TAC, se observó que la época de siembra de diciembre alcanzó valores altos de biomasa durante las etapas iniciales del estudio 15 y 30 dde (Figura 1b), mientras que las épocas de siembra de octubre y noviembre se mantuvieron valores similares. A partir de los 45 dde, las épocas de siembra de octubre y noviembre alcanzaron los valores más altos en ganancia de biomasa con tasas finales de 4,52 y 3,19 g día<sup>-1</sup> a los 90 dde. Estas diferencias de magnitud y velocidad en el crecimiento pueden ser explicado por un modelo cuadrático para las épocas de siembra de octubre, la cual presentó un coeficiente de determinación de 0,97. Los valores iniciales para TAC presentaron ganancia en forma lineal en las tres épocas de 0,063, 0,69 y 0,32 g día<sup>-1</sup>, y cuadráticamente con 0,12, 0,015 y 0,055 g día<sup>-1</sup> (Tabla 3). Estos valores difieren a los obtenidos por Maqueira (2006) con valores de 3.09 y 2.85 g día<sup>-1</sup> en cultivares con y sin fertilización, y a los obtenidos por Charry (2013), quien encontró que los materiales Fedearroz Mocarí y Fedearroz 473, presentaron pérdidas iniciales de biomasa, los valores finales de TAC fueron inferiores, entre 1,33 y 2,32 g día<sup>-1</sup>, a los 83 días después de transplante.

La TRC se explica por modelos cuadráticos (Tabla 3), en los cuales todos los tratamientos a excepción de la siembra de diciembre compartieron una tendencia similar (Figura 1c). En los estados iniciales, las épocas de siembra disminuyeron su capacidad de producción de biomasa a partir de la existente, siendo la más baja en la época de siembra de octubre con 0,29 g g día<sup>-1</sup>, y la época de siembra de noviembre con una TRC final de 0,027 g g día<sup>-1</sup> (Tabla 3). Estos valores son mayores a los reportados por Charry (2013), para la zona arrocería de Montería, en los cultivares de arroz Fedearroz Caracolí y Fedearroz Mocarí, con una máxima TRC de 0,155 y 0,252 y la variedad Fedearroz 473 con una máxima TRC de 0,115 a los 55 días después de trasplante.

La época de siembra de diciembre experimentó

una alta eficiencia en los primeros estados de crecimiento de la etapa vegetativa 15 y 30 dde, pero tendió a reducirse gradualmente. Caso diferente mostraron las épocas de siembra de octubre y noviembre, las cuales alcanzaron tasas máximas de ganancia en cuanto a TRC a partir de los 45 dde, permaneciendo con la misma tendencia hasta los 90 dde, decreciendo a medida que entraron los genotipos en la fase de senescencia. El comportamiento mostrado por la época de siembra de octubre en cuanto a mayor masa seca y TAC, pudo explicarse por las condiciones de baja radiación presente durante su fase vegetativa, lo que pudo alargar la duración del área foliar, manteniendo mayor número de hojas verdes.

**Tabla 3.** Modelos de regresión de los índices de crecimiento de cuatro variedades de arroz en de tres épocas de siembra en el Sinú medio departamento de Córdoba 2012B.

Parámetro	Época de siembra	Modelo	R <sup>2</sup>
AF	Octubre	$y = -38,577 + 88,67x - 11,023x^2$	0,83
	Noviembre	$y = -58,571 + 94,64x - 10,923x^2$	0,96
	Diciembre	$y = -73,729 + 111,75x - 13,917x^2$	0,95
MS	Octubre	$y = -0,2317 + 0,0638x + 0,1283x^2$	0,97
	Noviembre	$y = -0,9177 + 0,6978x + 0,0154x^2$	0,98
	Diciembre	$y = -0,2928 + 0,3162x + 0,0555x^2$	0,98
TAC	Octubre	$y = -0,2317 + 0,0638x + 0,128x^2$	0,97
	Noviembre	$y = -0,9177 + 0,6978x + 0,015x^2$	0,83
	Diciembre	$y = -0,2928 + 0,3162x + 0,056x^2$	0,83
TRC	Octubre	$y = -0,3157 + 0,009x - 5E-05x^2$	0,99
	Noviembre	$y = -0,2854 + 0,008x - 3E-05x^2$	0,99
	Diciembre	$y = -0,1275 + 0,002x - 8E-06x^2$	0,97
TAN	Octubre	$y = -0,0003 + 2E-05x + 9E-07x^2$	0,92
	Noviembre	$y = -0,0003 + 3E-05x + 6E-07x^2$	0,84
	Diciembre	$y = 0,00131 - 5E-05x + 1E-06x^2$	0,93
IAF	Octubre	$y = 1362,5 - 445,2x + 37,703x^2$	0,99
	Noviembre	$y = 923,96 - 202,73x + 9,031x^2$	0,77
	Diciembre	$y = 192,81 + 168,74x - 33,765x^2$	0,60
RAF	Octubre	$y = 374,76 - 74,124x + 2,102x^2$	0,97
	Noviembre	$y = 509,4 - 143,79x + 10,177x^2$	0,97
	Diciembre	$y = 583,93 - 190,8x + 16,158x^2$	0,99

El comportamiento para TAN, tendió a ser similar en las épocas de siembra; sin embargo, las tasas máximas de TAN se registraron a los 75 dde, para las épocas de siembra de octubre y noviembre, con valores de 0,0079 y 0,0076 g cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup> respectivamente.



Este comportamiento está asociado a una mayor acumulación de masa seca en los genotipos, generado por la alta demanda en su fase reproductiva, lo que produce una mayor eficiencia fotosintética de los cultivares. En la época de siembra de diciembre la tasa máxima de TAN, se presentó a los 90 dde con un valor de  $0,0074 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , donde la actividad asimilatoria de las hojas para las épocas de siembra comenzó a disminuir progresivamente, debido a la entrada de la fase de senescencia del cultivo (Figura 1d). Estos datos son mayores a los obtenidos por Charry (2013), quien reporta acumulación de biomasa a partir de los primeros 42 días de desarrollo del cultivo, con valor de  $0,0002 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ , en la localidad de San Bernardo del Viento, seguida de Lorica con valor de  $0,000031 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$  y Montería en el departamento de Córdoba, con tasas de  $0,000025 \text{ g cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ . Si se compara el comportamiento de la TAN. Gil y Miranda (2007) y Carranza et al. (2008), afirman que esta respuesta se relaciona con el área foliar existente en los primeros días del cultivo, cuyas hojas están más expuestas a la radiación y son más eficientes en la asimilación de  $\text{CO}_2$ , pero el desarrollo disminuye en la medida que aumenta el sombreadamiento influyendo en la interceptación de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y por consiguiente en la fotosíntesis.

El IAF en las diferentes épocas de siembra fue explicada por un modelo del orden cuadrático (Tabla 3), donde la época de siembra de octubre presentó la máxima expansión foliar, con un índice de 5,2 a los 45 dde (etapa de elongación de tallo), para las épocas de siembra de noviembre y diciembre, la máxima expansión foliar se presentó a los 60 dde (inicio de primordio floral), con índices de 5,57 y 5,94 respectivamente (Figura 1e). El adelanto de máxima expansión foliar para la época de octubre, puede ser explicada por las condiciones de baja radiación en la fecha, en la cual la planta responde con mayor área foliar, buscando captar radiación, la obtención de un índice foliar máximo en los

primeros 45 dde, para la época de siembra de octubre puede generar tasas de fotosíntesis baja por efecto de autosombramiento de las hojas del tercio medio e inferior, sin embargo, esta época presentó el mejor comportamiento para este índice de crecimiento, con una ganancia en área foliar por área de suelo; a partir de los 75 dde el IAF tiende a decrecer. Según Rodríguez (2000), en el caso del cultivo de ñame, cuando desarrollan un IAF superior a 5,3 pueden causar que la tasa de crecimiento se reduzca debido al autosombramiento de las hojas y la subsecuente reducción de la fotosíntesis del dosel y la elevada tasa de reemplazo de las hojas.

El índice de área foliar óptimo es aquel que soporta la máxima tasa de materia seca, y se consigue cuando el cultivo intercepta virtualmente toda la RFA disponible (Clavijo 1989). El índice de área foliar óptimo en la época de siembra de octubre se alcanzó a los 90 dde, en la etapa de floración, mientras que para las épocas de siembra de noviembre y diciembre se presentó a los 75 dde (Figura 1e), en etapa de embuchamiento, condición que indica la necesidad de mayor partición de asimilados de las plantas en la fase reproductiva.

Estos datos fueron superiores a los obtenidos por Charry (2013), en la localidad de Lorica, alcanzando valores de IAF de 2,16. En la localidad de Montería los valores de IAF obtenidos fueron superiores, a los reportados en esta investigación con 6,32 y 8,72, entre los 92 y 105 días después de transplante. Para la localidad de San Bernardo del Viento, los valores de IAF fueron muy similares, ya que se obtuvieron índices de 5,9 y 7,2 entre los 70 y 84 ddt.

El modelo de regresión que mejor explicó el comportamiento de la RAF para las épocas de siembra correspondió a uno de orden cuadrático (Tabla 3). Las mayores tasas para la producción de área foliar alcanzó su máximo valor a los 15 dde, para la época de siembra de octubre, con valores de  $926,6 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ ; en el

caso de las épocas de siembra de noviembre y diciembre, estas alcanzaron las mayores tasas de RAF, a los 30 dde, con valores de 824,7 y 590,9  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  respectivamente. Los valores altos en etapas iniciales de RAF pueden ser explicados por la distribución de fotoasimilados por la planta, hacia los órganos responsables de los procesos de crecimiento y desarrollo de las áreas fotosintéticas, esto quiere decir que hay una máxima capacidad fotosintética potencial y un bajo costo respiratorio potencial (Clavijo 1989); igualmente no se ha alcanzado la cobertura total del cultivo (fase vegetativa). Posteriormente se produjo un decrecimiento moderado pero progresivo en la RAF en las épocas de siembra debido al incremento de la biomasa total y por ende al aumento del costo respiratorio, a partir de los 30 dde para la época de siembra de octubre y de los 45 dde para las épocas de noviembre y diciembre (Figura 1f). Estos valores son superiores a los obtenidos

por Charry (2013), quien, en la localidad de Montería, alcanzó valores de RAF entre 206,56 y 241,91  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ , a partir de los 60 ddt y hasta los 70 dde. Valores más altos fueron alcanzados en la localidad de San Bernard; estos oscilaron en los rangos de 300,51 y 480,28  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ .

Los resultados del análisis de varianza para los componentes de rendimiento (Tabla 4), presentó diferencias significativas ( $p \leq 0,01$ ) en las épocas de siembra de noviembre y diciembre para la variable de rendimiento, los demás componentes de rendimiento no presentaron diferencias significativas, indicando una respuesta de los cultivares a condiciones ambientales que posiblemente influyeron en forma directa en la eficiencia de los materiales en las distintas etapas fenológicas de mayor demanda de radiación, para producción de fotoasimilados, los cuales se manifestaron en los rendimientos finales.

**Tabla 4.** Cuadrados medios del análisis de varianza para los componentes de rendimiento, altura de plantas, panículas/ $\text{m}^2$ , granos por planta, peso de 1000 granos y rendimiento, de cuatro cultivares de arroz en tres épocas de siembra durante el 2012B.

Fuente de variación	Altura plantas cm	Panículas/ $\text{m}^2$	granos/planta	Peso 1000 granos	Rendimiento $\text{t ha}^{-1}$
Octubre	638992,00	776550,27	154,00	618738,27	673553,19
Noviembre	3775,54	5105,00	0,14	849,00	5238666667**
Diciembre	3855,23	5790,33	0,08	3554,67	15750666667**
C.V (%)	23,60	21,60	22,30	18,40	9,40
R <sup>2</sup>	0,62	0,60	0,65	0,50	0,82

La variable altura de plantas no presentó diferencias en las diferentes épocas de siembra, presentando valores entre 92,55 y 100,45 cm (Tabla 5). Esto puede indicar que la mayor producción de fotoasimilados fue a la parte aérea, afectando directamente los rendimientos de los cultivares, y posiblemente se dio como respuesta a las condiciones de baja radiación presente en el trimestre final del 2012. Estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Cristo et al (2006); Zheng et al. (2011). E inferiores a los obtenidos por Cardona (2010); Cristo (2004) y Caicedo (2008).

El número de panículas por  $\text{m}^2$  no presentó diferencias entre las épocas de siembra, con un promedio de 530 panículas por  $\text{m}^2$  (Tabla 5). Estos resultados son similares a los obtenidos por Zheng (2011), el cual reportó valores entre 495 y 748 panículas/ $\text{m}^2$ . Y superiores a los obtenidos por Cristo et al. (2006), con 268 y 340 panículas/ $\text{m}^2$ , durante el 2002 en periodos poco lluvioso y 268 y 348 panículas/ $\text{m}^2$  en el 2003 en periodo lluvioso sin riego, manifestando que en este período poco lluvioso se alarga el ciclo del cultivo y está expuesto a una mayor irradiación solar, lo que permite una mayor traslocación

de fotosíntesis y ahijamiento; razón que puede explicar un mayor número de macollas en la época seca. Igualmente, a los obtenidos por Maqueira (2007) con valores de 303 y 321 panículas/m<sup>2</sup>. Osorio (2007), encontró valores más altos con 694, 679, 667 y 665 para los cultivares IR 8, Orizica Lanos 4, Cica 8 y Orizica Lanos 5.

El número de granos por panícula presentó valores entre 82 y 102 granos/panícula, donde los valores más bajos se presentaron en la época de siembra de octubre y los más altos en la época de siembra de noviembre (Tabla 5). Estos valores son superiores a los obtenidos por Maqueira (2010); Cardona (2010) y a los reportados por Osorio (2007). E inferiores a los obtenidos por Lang et al. (2012). Y similares a los obtenidos por Saavedra y Puente (2010) con 98,19 granos/panícula. La fertilidad de las espiguillas depende de la intensidad lumínica durante la antesis, mientras que el llenado de granos depende de la radiación solar, el área foliar, el índice de fotosíntesis y el traslado de asimilados (Murty and Venkateswarlu 1978). Esto es corroborado con lo descrito por Yoshida and Parao (1976). La radiación solar durante los estados de post-floración afecta

el llenado de las espiguillas especialmente al controlar la actividad fotosintética. El peso de 1000 granos no presentó diferencias significativas en las diferentes épocas de siembra, sin embargo, estos valores presentaron pesos entre 17,27 y 28,48 g. siendo los valores más bajos los encontrados en la época de siembra de octubre y los más altos los reportados para la época de siembra de noviembre (Tabla 5). Estos valores son muy similares a los reportados por Cristo et al. (2006), Maqueira (2007); Osorio (2007); Lang et al. (2012) y Caicedo (2008). E inferiores a los reportados por Charry (2013) con valores promedios de 29,9 g para los cultivares Fedearroz Mocarí y Fedearroz 473. Alfonso et al. (2002) y Suárez et al. (2002), señalan que el rendimiento se establece en función de sus componentes: número de panículas, número de espiguillas por panícula, porcentaje de espiguillas llenas y peso de 1000 granos; sin embargo, en algunos casos y en ciertas condiciones climáticas, el porcentaje de llenado de las espiguillas puede ser más limitante para el rendimiento que el número de espiguillas. Por ello, para cada situación dada, deben examinarse las causas de la variación del rendimiento y sus componentes.

**Tabla 5.** Valores medios de los componentes de rendimiento, altura de plantas, panículas/m<sup>2</sup>, granos por planta, peso de 1000 granos y rendimiento, de cuatro cultivares de arroz en tres épocas de siembra durante el 2012B.

Fuente de variación	Altura plantas cm	Panículas/m <sup>2</sup>	granos/planta	Peso 1000 granos	Rendimiento t ha <sup>-1</sup>
F. 2000	99,90 a	589 a	82 a	25,55 a	3,38 a
F. 50	100,45 a	529 a	84 a	26,28 a	3,79 a
F. Mocarí	97,20 a	366 a	78 a	18,93 a	2,70 a
F. 473	97,00 a	264 a	77 a	17,28 a	2,85 a
F. 2000	93,80 a	572 a	99 a	28,29 a	4,03 a
F. 50	97,80 a	554 a	101 a	28,48 a	3,51 ab
F. Mocarí	93,45 a	628 a	85 a	20,83 a	3,16 b
F. 473	93,80 a	551 a	92 a	24,33 a	3,68 ab
F. 2000	92,55 a	602 a	100 a	25,92 a	4,52 a
F. 50	97,05 a	551 a	89 a	20,29 a	3,10 c
F. Mocarí	93,75 a	537 a	94 a	25,53 a	3,45 bc
F. 473	93,55 a	615 a	99 a	26,31 a	4,03 ab

Promedios con letras similares en sentido vertical no difieren estadísticamente, según la prueba de comparación de medias de Tukey (p=0,05).



Los rendimientos presentaron diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) entre las épocas de siembra (Tabla 5), especialmente entre noviembre y diciembre, influenciados por las diferencias entre temperaturas máximas y mínimas en el inicio del estado reproductivo, los materiales presentaron valores bajos en la variable rendimiento en la época de octubre con valores entre  $3,79 \text{ t ha}^{-1}$  para Fedearroz 50 y  $2,7 \text{ t ha}^{-1}$  para Fedearroz mocarí. Mientras que en las épocas de siembra noviembre y diciembre, el valor más alto fue alcanzado por Fedearroz 2000 con  $4,03$  y  $4,52 \text{ t ha}^{-1}$ , y los rendimientos más bajos para Fedearroz Mocarí con  $3,1$  y  $3,16 \text{ t ha}^{-1}$ . Estos valores son similares a los reportados por Cristo et al. (2006); Cardona (2010), e inferiores a lo obtenidos por Charry (2013); Maqueira (2007:2010); Osorio (2007); Lang et al. (2012) y Degiovanni (2004).

De acuerdo con los resultados obtenidos, los rendimientos estuvieron influenciados por las condiciones ambientales, las cuales influyeron en forma directa en los mismos, la expresión de caracteres cuantitativos en arroz, se encuentran relacionados en forma directa por la interacción genotipo y ambiente. Estévez et al. (2000), señala que el rendimiento al ser un carácter cuantitativo, no queda exento de esta influencia, pues como no es posible mantener un medio ambiente constante para la producción, los rendimientos varían de un año a otro. La estabilidad del rendimiento en el cultivo del arroz es está dada por una mayor estabilidad en las fases tardías del desarrollo (Aguilar 2001).

## CONCLUSIONES

Los mejores resultados en eficiencia de la planta para producir materia seca en el tiempo TRC, TAC y RAF se presentó en las épocas de siembra de octubre y noviembre, donde las condiciones de temperatura y radiación fueron estables para el crecimiento. La TAN presentó para la época de siembra de octubre la mayor ganancia de masa seca por área foliar,

los valores más altos de IAF se presentaron en la época de siembra de noviembre.

Las variables altura de planta, panículas por  $\text{m}^2$ , número de granos por panícula y peso de 1000 granos, alcanzaron los máximos valores durante la época de siembra de noviembre con los cultivares Fedearroz 2000 y Fedearroz 50. El rendimiento final presentó diferencias significativas en las épocas de siembra de noviembre y diciembre, donde los cultivares Fedearroz 2000 y Fedearroz 473, alcanzaron los mayores rendimientos, siendo más alto para diciembre, mostrando los mejores efectos de aprovechamiento de la oferta ambiental para los cultivares.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M. 2001.** Funciones del agua. En: Cultivo del arroz en el sur de España. Las Torres-Tomejil : Centro de Investigación y Formación Agraria. p. 189.
- Agronet. Ministerio de Agricultura. 2016.** Evaluaciones agropecuarias municipales-EVA-Oficina de planeación y prospectiva MADR. <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>. [Mayo 20 de 2017].
- Alfonso, R., Rodríguez, S., Ramírez, E., Pérez, R., Obiol, T., Suárez, E. y Hernández, J. 2002.** Contribución del mejoramiento genético al sistema de arroz popular en Cuba. Arroz Encuentro Internacional de Arroz del Instituto de Investigaciones del Arroz. Memorias (2: 2002 jul. 10-12, La Habana), 77-80.
- Aramendiz, H., Espitia, M., Cardona, C. 2011.** Adaptación del arroz riego (*Oryza sativa* L.) en el Caribe colombiano. Acta Agronómica. ISSN 0120-2812. 60 (1).
- Brown, R. 1984.** G Growth of the green plant. pp. 153-174. En: Tesar, M.B. (ed.). Physiological basis of crop growth.

- Caicedo Y. 2008.** Evaluación de características agronómicas de cuatro líneas interespecíficas de arroz (*Oryza sativa latifolia*) comparadas con dos variedades comerciales y una nativa en el corregimiento #8 de Zacarías, municipio de Buenaventura. Tesis (Agrónomo del Trópico Húmedo) (Doctoral dissertation, Universidad del Pacífico, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas, Programa de Agronomía del Trópico Húmedo).
- Cardona, G. 2010.** En la mojana nuevas variedades bajo condiciones de sequía. Boletín Informativo de la Federación Nacional de Arroceros - Fondo Nacional del Arroz Bogotá, D.C. ISSN 122-2635. Año 19(229).
- Carranza, C., Lanchero, O., Miranda, D. y Chaves, B. 2009.** Análisis del crecimiento de lechuga (*Lactuca sativa* L.) 'Batavia' cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. Agronomía Colombiana 27(1), 45, 2009.
- Cristo, E. 2004.** Empleo del cultivo de anteras para la obtención de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) de buen comportamiento para condiciones de bajos suministros de agua. [Tesis de Maestría]; INCA, 56 p.
- Cristo, E., González, M., Cárdenas, R. Y Cabrera, A. 2006.** comportamiento de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidos mediante cultivo de anteras para condiciones de bajo suministro de agua. Cultivos Tropicales, 27(2), p. 57-62
- Charry, R. 2013.** Caracterización fisiológica de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.), bajo riego en función de la oferta ambiental del departamento de Córdoba. Tesis de Maestría. Universidad de Córdoba. Colombia. doi.org/10.21897/rta.v21i1.867.
- Clavijo, J. 1989.** Análisis de Crecimiento en Malezas. Revista Comalfi, XVI: 12 – 16.
- Degiovanni, V., Gómez, J. y Sierra, J. 2004.** Análisis de crecimiento y etapas de desarrollo de tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) en Montería, Córdoba. Revista temas Agrarios. 1:21-29.
- Encuesta Nacional de Arroz Mecanizado ENAM. 2016.** Boletín técnico. Departamento Administrativo Nacional de estadística. Bogotá, D.C. Agosto 19.
- Estévez, A., González, M., Castillo, J. y Ortiz, U. 2000.** Estudio de interacción genotipo-ambiente en clones cubanos de papa (*Solanum tuberosum*). Cultivos Tropicales, 21(2), 59-64.
- Fedearroz. 2008.** Mejoramiento genético del cultivo de arroz en el Caribe húmedo. Revista Arroz, 56 (474): 41-48.
- Gil, A. y Miranda, D. 2007.** Efecto de cinco sustratos sobre índices de crecimiento de plantas de papaya (*Carica papaya* L.) bajo invernadero. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. Vol. 1(2): 152.
- Hunt, R. 1982.** Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis. University Park Press. 249 p.
- Lang, Y., Yang, X., Wang, M. and ZHU, Q. 2012.** Effects of lodging at different filling stages on rice yield and grain quality. Rice Science, 19(4), 315-319.
- Maqueira, L., Torres, W., Morejón, R. y Ruiz, M. 2006.** Relación del crecimiento y rendimiento de la variedad INCA LP-5 sometida a los principios básicos del sistema intensivo del cultivo del arroz (SICA). Cultivos Tropicales, 27(4), 43-47.

- Maqueira, L., Torres, W., Díaz, G., Torres, K. 2007.** Efecto del sistema intensivo del cultivo arrocerero (sica) sobre algunas variables del crecimiento y el rendimiento en una variedad de ciclo corto. *Cultivos Tropicales*, vol.28, núm.2, 2007, pp.59-61
- Maqueira, L., Pérez, S. and Torres, W. 2010.** Crecimiento y productividad de variedades de arroz de diferentes ciclos en dos fechas de siembra en la época de frío en Los Palacios, Pinar del Río. *Cultivos Tropicales*, 31.4.
- Ministerio de Agricultura. 2013.** Anuario estadístico del sector agropecuario. Resultado de evaluaciones agropecuarias municipales. Bogotá. D.C. 304 p.
- Murty, K. and Venkateswarlu, B. 1978.** Physiological constraints on growth and development in rice during Khari season. In: *Proc Natl Symp Increasing rice yield in Kharif*. Cent. Rice Res Inst. Cuttack, India. p.45-65.
- Osorio, J. 2007.** Evolución del crecimiento, rendimiento de grano y partición de fotosintatos en 14 variedades de arroz representantes de diversos ciclos de mejoramiento en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Magister en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento, Palmira.
- Palencia, G., Mercado, T., y Combatt, E. 2006.** Estudio agrometeorológico del Departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Córdoba. Graficas del Caribe. 126p.
- Rodríguez, W. 2000.** Botánica, domesticación y fisiología del cultivo del ñame (*Dioscúrea alata*). Universidad de Costa Rica. Alajuela, Costa Rica. *Agronomía Mesoamericana*. Vol. 11 (2): p 133 – 152.
- Saavedra, E. y Puente, B. 2010.** Selección de la variedad, factor clave en el sector arrocerero, *Revista Arroz* 486(58): 14-21.
- Santos, M., Segura, M. y Núñez, C. 2010.** Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 63(1), 5253-5266.
- Shahidullah, S., Ashrafuzzaman, M., Salam, M. and Khair, A. 2009.** Flowering response and crop duration of aromatic rice in diverse environments. *C. R. Biologies*. 332 (10): 909-916.
- Suárez, E., Deus, J., Pérez, J., Alfonso, R., Hernández, J., Puldón, V., Peña, R., Fuentes, J. y Duany, A. 2002.** Avances y perspectivas de programa de mejoramiento genético del arroz en Cuba. IIA. En: *Encuentro Internacional del Arroz: Memorias* (La Habana), p. 74.
- Yoshida, S. and Parao, F. 1976.** Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. In: *Proc. Symp climate and Rice Res Inst*. Manila, Philippines, pp.471-491.
- Zheng, T., Zhang, X., Yin, G., Wang, L., Han, Y., Chen, L. and He, Z. 2011.** Genetic gains in grain yield, net photosynthesis and stomatal conductance achieved in Henan Province of China between 1981 and 2008. *Field Crops Research*, 122(3), 225-233.